بررسی قابلیت زیست‌پالایی گونه‌های درختی در خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم در شهر تهران

بهروز کُرد[1*]، **امین خادمی**[1]، **سارا پورعباسی**[1]، **فرهاد شاملو**[2]

تاریخ دریافت: 92/2/11 تاریخ پذیرش: 92/8/10

چکیده

زیست‌پالایی گیاهی نوعی فن‌آوری اقتصادی و دوستدار محیط زیست است که در آن انتخاب گونه‌هایی با قابلیت تطابق با شرایط محیطی آلوده، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی میزان پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم به‌وسیله گونه‌های درختی کاج تهران، سرو نقره‌ای، اقاقیا، زبان گنجشک و نارون در سطح شهر تهران صورت پذیرفت. برای این منظور در تابستان سال 1390 و در رویشگاه‌های آلوده و شاهد، باتوجه‌به جهت باد غالب یک ترانسکت انتخاب و نمونه‌برداری از برگ‌ها و ریشه‌های سطحی درختان در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در 3 تکرار انجام پذیرفت و میزان غلظت سرب و کادمیوم موجود در هر یک از آنها با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل 3030 اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در رویشگاه‌های آلوده میزان غلظت سرب و کادمیوم در اندام‌های درختان بیشتر از رویشگاه شاهد بوده‌است. همچنین گونه‌های کاج تهران، سرو نقره‌ای و اقاقیا بیشترین ضریب انتقال سرب (3/49ppm، 2/99ppm و 2/82ppm) و کادمیوم (3/35ppm، 2/83ppm و 1/92ppm) را از اندام زیرزمینی به اندام هوایی دارا بوده‌اند. باتوجه‌به این موضوع و شرایط سازگاری مناسب، این سه گونه می‌توانند به منظور پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: زیست‌پالایی، فلزات سنگین، سرب، کادمیوم، آلودگی خاک، گونه‌های درختی، شهر تهران

1- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر.

2- کارشناس‌ارشد زیست‌شناسی گیاهی. مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر.

* مسوول مکاتبات. Behrouzkord@ iau-malayer.ac.ir

مقدمه

با افزایش جمعیت، گسترش صنعت و دخالت‌ها و برنامه‌ریزی‌های نادرست انسان، روز به روز بر آلودگی‌های محیط زیست افزوده می‌شود (بسالت‌پور و همکاران، 1387). از جمله این آلودگی‌ها می‌توان به آلودگی ناشی از فلزات سنگین اشاره نمود. این فلزات در اثر فرسایش طبیعی سنگ‌ها و فعالیت‌های بشری مانند احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلزات، فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و باتری‌ها وارد محیط زیست می‌گردند (EPA, 2006[1]). آلودگی خاک به‌عناصر سنگین یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در جهان محسوب می‌شود. میزان این فلزات در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون سنگ مادر، منابع آلاینده صنعتی، کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و پساب‌های صنعتی و شهری بوده که باتوجه‌به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط محیطی، روند تجمع و انباشت آنها در لایه‌های خاک متفاوت است (دبیری، 1379). سرب عموماً در نتیجه استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار وارد محیط‌های شهری شده‌است. در سال‌های اخیر به‌دلیل حذف سرب از بنزین، ورود آن به محیط‌های شهری کاهش چشم‌گیری داشته اما همچنان انباشت آن در محیط باقی است. کادمیوم نیز در تایر خودروها وجود داشته و از طریق استهلاک خودروها و انتشار ترافیکی به محیط شهری وارد می‌شود (Pais and Jones, 1997). از عوامل مؤثر بر پراکندگی این عناصر در محیط می‌توان به شرایط خیابانی، جریان ترافیکی و پارامترهای محیطی اشاره نمود. پارامترهای خیابانی به شرایط فیزیکی و معماری راه‌ها بستگی داشته و شامل طول، شیب، عرض و عمر خیابان، ارتفاع متوسط، چینش و عمر ساختمان‌های اطراف، عرض پیاده‌رو، تعداد خطوط حرکت، نوع پوشش سبز و ارتفاع گیاهان اطراف هر خیابان می‌باشند (Armstrong, 1998; Wang, 2005). جریان ترافیکی از عوامل مهم انتشار آلاینده‌های خودرویی بوده و شامل سرعت، حجم ترافیک و چگالی جریان است (Johnson and Ferreira, 2001; Coelho et al., 2005). پارامترهای محیطی نیز شامل دما، میزان بارندگی، جهت و سرعت وزش باد و خصوصیات خاک می‌باشند (تائبی و همکاران، 1386). سرب و کادمیوم اگر چه در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان نقش مشخصی نداشته ولیکن به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری، امکان جذب آنها توسط گیاهان وجود دارد (Al-Shayeb and Seaward, 2001).

امروزه استفاده از روش‌های بیولوژیک به عنوان رویکردی جدید در پاکسازی خاک‌های آلوده مورد توجه قرار گرفته‌است (Gao and Zhu, 2003). برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین موجود در خاک را دارند بدون این‌که آثار سمّی آشکار در آنها ایجاد گردد. به این گونه‌ها ابرانباشتگر[2] گفته می‌شود (Yaron et al., 1996). برای این‌که یک گونه گیاهی به‌عنوان

[1]-Environmental Protection Agency

[2]-Hyperaccumulator

برای این‌که یک گونه گیاهی به‌عنوان ابرانباشتگر یک عنصر سنگین شناخته شود باید غلظت آن در اندام هوایی به آستانه تحمل برسد، که برای عناصر مختلف این میزان به نوع و مقدار فلزات موجود در خاک، دستیابی زیستی[1] عناصر و نوع گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Yağdı et al., 2000). یکی از روش‌های زیست‌پالایی خاک-های آلوده که در آن از گیاهان مقاوم جهت پالایش ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌گردد، گیاه‌پالایی[2] نام دارد. در این روش با برداشت گیاهان از خاک و انجام عصاره‌کشی گیاهی نسبت به جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت-های گیاهان اقدام می‌شود (Cooper et al., 1999). در فرآیند گیاه‌پالایی پارامترهایی نظیر بردباری، سیستم ریشه‌ای قوی، فاکتور انتقال[3] و سرعت رشد بالا مؤثر می‌باشند (Huang, 2004; Lasat, 2000).

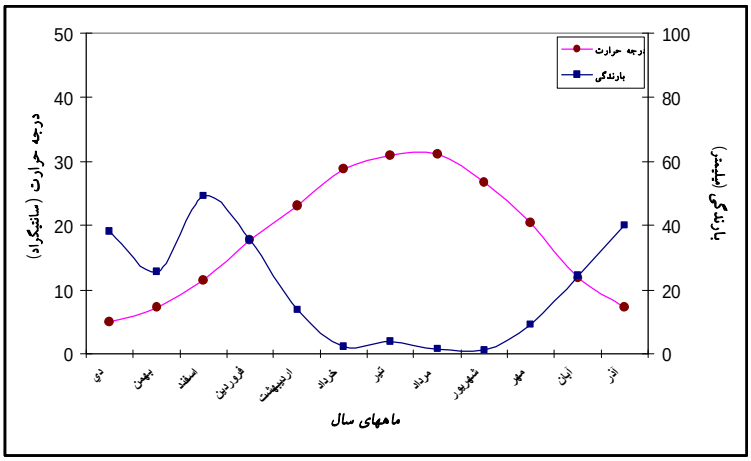
این تحقیق با هدف بررسی گونه‌های درختی کاج تهران[4]، سرو نقره‌ای[5]، اقاقیا[6]، زبان گنجشک[7] و نارون[8] نسبت به تجمع سرب و کادمیوم موجود در خاک، در شهر تهران انجام شده‌است تا گونه‌هایی که ابرانباشتگر مفید این عناصر می‌باشند، شناسایی شده و در مناطق آلوده مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

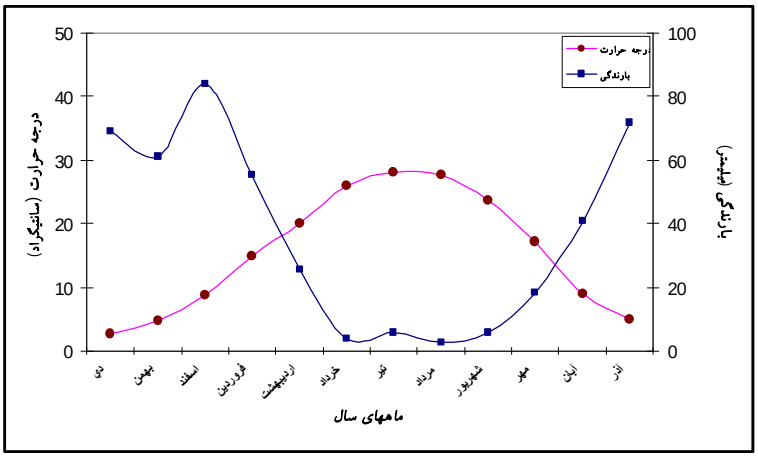
مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به لحاظ موقعیت جغرافیایی در ´8 °51 تا ´37 °51 طول شرقی و ´34 °35 تا ´50 °35 عرض شمالی قرار گرفته‌است. ارتفاع این شهر از سطح دریا از 1100 متر در جنوب تا 1700 متر در شمال در نوسان می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی، 1390). در این تحقیق به‌دلیل اینکه مناطق مورد مطالعه در محدوده ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد و شمال تهران قرار داشتند، کلیه آمار و ارقام هواشناسی در طی یک دوره 10 ساله (1389-1380) از این ایستگاه‌ها استخراج گردید. براساس آمارهای ایستگاه هواشناسی مهرآباد، میانگین بارندگی سالیانه 245/5 میلی‌متر، متوسط حرارت سالیانه 18/45 درجه سانتی‌گراد، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد و تعداد ماه‌های خشک 7 ماه می‌باشد (شکل1). این درحالی-است‌که برطبق آمارهای ایستگاه هواشناسی شمال تهران، میانگین بارندگی سالیانه 444 میلی‌متر، متوسط حرارت سالیانه 15/6 درجه سانتی‌گراد، اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب سرد و تعداد ماه‌های خشک 6 ماه است(شکل2) (سازمان هواشناسی، 1390).

[1]-Bioavailability
[2] -Phytoremediation
[3] -Translocation Factor (TF)
[4]-*Pinus Eldarica* Medw.
[5]-*Cupressus arizonica* Greene.
[6]-*Robinia peseudoacacia* L.
[7]-*Fraxinus rotundifolia* Mill.
[8]-*Ulmus carpinifolia var umbraculifera* Rehd.



شکل1- منحنی آمبروترمیک با استفاده از آمارهای ایستگاه هواشناسی مهرآباد



شکل2- منحنی آمبروترمیک با استفاده از آمارهای ایستگاه هواشناسی شمال تهران

روش بررسی

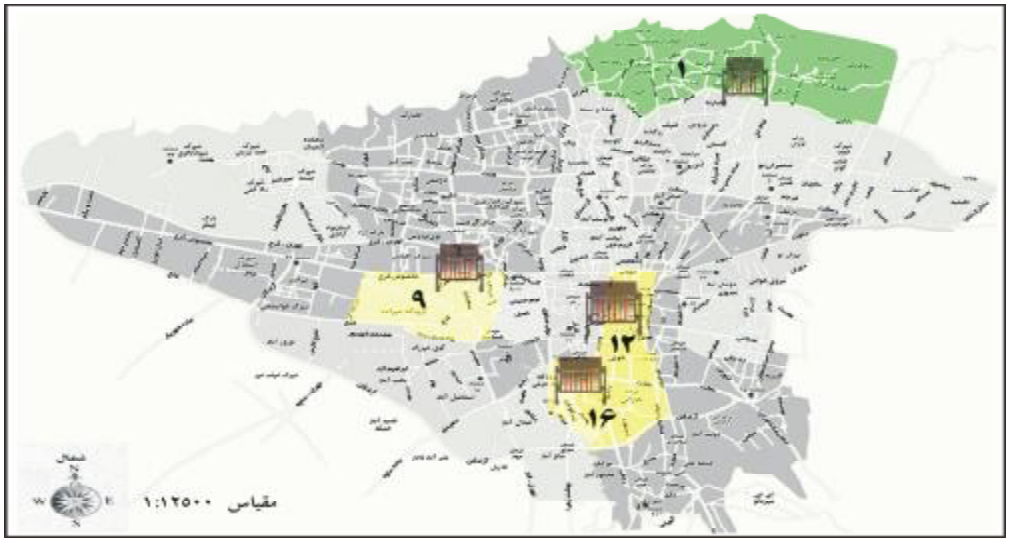
با استفاده از گزارشات سازمان حفاظت محیط زیست، شرکت کنترل کیفیت هوا و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر تهران و انجام نمونه-برداری از هوا، میدان آزادی (آزادی)، خیابان پانزده خرداد (بازار) و میدان بعثت (بهمن) به عنوان رویشگاه‌های آلوده و خیابان شهید لنگری (اقدسیه) به‌عنوان رویشگاه شاهد در سطح شهر تهران در نظر گرفته شدند (شکل3). سپس گونه-های کاج تهران، سرو نقره‌ای، اقاقیا، زبان گنجشک و نارون که به صورت غالب و مشترک در بین رویشگاه‌ها وجود داشتند، به‌عنوان گونه-های درختی مورد مطالعه انتخاب شدند. در شهریور سال 1390 و در هر رویشگاه باتوجه‌به جهت باد غالب، یک ترانسکت انتخاب و نمونه-برداری از برگ‌ها و ریشه‌های سطحی درختان در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در 3 تکرار صورت پذیرفت.

با در نظر گرفتن تیمارهای مورد مطالعه، تعداد 240 نمونه تهیه شد که پس از کُد گـذاری بـه آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و در آون تهویه‌دار به مدت 48 ساعت و در حرارت 75 درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر شده و برای عصاره‌گیـری بـه‌روش هضم از اسید نیتریک 4 نرمال در حـرارت 95 درجه سانتی‌گـراد اسـتفاده شـد (Westerma, 1990). پس از صاف‌کـردن عـصاره‌هـا، میـزان غلظت سرب و کادمیوم در هر یک از نمونه‌هـا به‌وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المـر مـدل 3030 انـدازه‌گیـری شـد (James and Wells, 1990).

در هر رویشگاه، نمونه‌برداری از خـاک زیـر پوشش درختان در دو عمـق 0-10 و 10تـا20 سانتی‌متری (منطقه فعال ریشه) انجام پذیرفت. در آزمایشگاه علاوه بر تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ها در دمای محیط خشک و به‌وسیله چکش پلاستیکی کوبیده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. سپس غلظت عناصر موجود در هر یک از آنها با توجه به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید (Klute, 1986).

با توجه به این‌که میزان غلظت فلزات سنگین در هیچ یک از ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا در شهر تهران تعیین نمی‌گردد لذا بـه‌دلیـل نوع مطالعه، قبل از انجام عملیات نمونه‌برداری از اجزای مختلف درختان و خاک زیر پوشش آنها، در هر رویشگاه با استفاده از پمپ نمونه‌برداری اقدام به نمونه‌برداری از هوا گردیـد و غلظـت سرب و کادمیوم موجود در هر یک از نمونه‌ها تعیین شد (EPA, 2006).

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم-افزار SPSS انجام شد. برای این منظور از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه برای قضاوت معنی‌دار بودن تأثیر تیمارها بـر روی مؤلفـه‌هـای مـورد تحقیق و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین مؤلفه‌ها در سطح اطمینان 95% استفاده گردید.



شکل3- نحوه استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در مناطق مورد مطالعه (شرکت کنترل کیفیت هوا،1390)

نتایج

غلظت در اتمسفر

نتایج نمونه‌برداری از هوا نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم در اتمسفر در رویشگاه آزادی و در شهریور ماه دارای بیشترین مقدار و به‌ترتیب 19/63 ppb و 7/27 ppb و در رویشگاه اقدسیه و تیر ماه دارای کمترین مقدار و به‌ترتیب 1/28 ppb و 0/47 ppb بوده‌است (جدول1).

جدول1. میزان غلظت سرب و کادمیوم در اتمسفر

زمان	غلظت (ppb)	رویشگاه			
		آزادی	بهمن	بازار	اقدسیه
تیر	سرب	16/45	11/06	9/15	1/28
	کادمیوم	5/1	4/09	3/38	0/47
مرداد	سرب	17/34	13/21	8/26	2/84
	کادمیوم	6/42	4/89	3/05	1/01
شهریور	سرب	19/63	14/29	11/17	3/09
	کادمیوم	7/27	5/29	4/13	1/14

غلظت در خاک

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک رویشگاه‌های مورد مطالعه در جدول 2 ارایه شده‌است. خاک این مناطق غیر آهکی با بافت عمدتاً لومی رسی است که به‌دلیل کمی مواد آلی، ذرات رس در آنها نقش ویژه‌ای دارند. نتایج حاکی‌از آن‌است‌که میزان غلظت سرب و کادمیوم در عمق‌های مختلف خاک و در رویشگاه‌های مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار بوده‌است به‌نحوی که در عمق 0تا10 سانتی‌متری در رویشگاه آزادی دارای بیشترین مقدار و در رویشگاه اقدسیه و عمق 10تا20 سانتی‌متر دارای کمترین مقدار می‌باشد.

جدول2- مشخصات فیزیکی، شیمیایی و میزان غلظت سرب و کادمیوم موجود در نمونه‌های خاک

رویشگاه	نمونه	عمق (cm)	رس %	سیلت %	شن %	بافت	شوری (ds/m)	اسیدیته	آهک %	مواد آلی %	کربن آلی %	پتاسیم (ppm)	ازت کل %	فسفر (ppm)	سرب (ppm)	کادمیوم (ppm)
آزادی	1	0-10	47	32/4	20/6	رسی	0/43	7/26	15/83	0/43	0/9	260	0/32	5/4	19/01	8/69
		10-20	44/2	31/54	24/26	رسی	0/38	7/12	17/26	0/37	0/81	270	0/29	5/7	5/1	2/56
	2	0-10	42/1	46/8	11/1	رسی سیلتی	0/39	7/35	14/1	0/29	0/59	255	0/26	6/0	17/24	7/06
		10-20	39/5	45/2	15/3	لومی رسی	0/48	7/19	12/2	0/25	0/46	250	0/23	6/2	4/8	2/26
بهمن	3	0-10	48/1	18/3	33/6	ماسه‌ای رسی	0/34	7/31	18/6	0/35	0/63	285	0/3	7/1	14/21	5/55
		10-20	37/3	20	42/7	لومی رسی	0/40	7/22	16/3	0/31	0/54	245	0/27	7	4/02	1/9
	4	0-10	33/0	34/2	32/8	لومی رسی	0/51	7/51	16/5	0/4	0/6	290	0/25	8/0	12/08	5/15
		10-20	29/2	31/9	38/9	لومی رسی	0/48	7/45	18/6	0/32	0/43	265	0/19	8/5	3/27	1/37
بازار	5	0-10	40	24/8	35/2	لومی رسی	0/41	7/48	19/13	0/51	0/87	280	0/26	8/8	9/36	4/06
		10-20	33/8	27/2	39	لومی رسی	0/39	7/36	17/06	0/44	0/60	240	0/28	9/5	2/47	1/07
	6	0-10	29/06	37/03	33/91	لومی رسی	0/29	7/73	20/50	0/47	0/95	200	0/31	6/8	8/85	3/13
		10-20	26/80	31/65	41/55	لومی رسی	0/32	7/56	22/16	0/38	0/48	185	0/23	6/9	1/94	0/95
اقدسیه	7	0-10	28/2	38/6	33/2	لومی	0/50	7/87	19/05	0/63	1/08	270	0/37	11/1	2/16	0/93
		10-20	24/64	44/2	31/16	لومی	0/52	7/79	20/21	0/52	0/86	240	0/46	11/4	0/54	0/23
	8	0-10	25/2	47/6	27/2	لومی	0/46	8/02	18/10	0/56	0/73	265	0/39	10/02	2/01	0/87
		10-20	24/3	52/3	23/4	لومی سیلتی	0/49	7/86	20/06	0/44	0/61	220	0/34	9/3	0/46	0/28

غلظت در اندام هوایی (برگ)

نتایج مطالعات نشان‌داد که بیشترین میزان غلظت سرب و کادمیوم در درختان کاج تهران و در رویشگاه آزادی به‌ترتیب با 18/57 ppm و 14/28 ppm و کمترین میزان این عناصر در درختان زبان گنجشک و رویشگاه اقدسیه به‌ترتیب با 1/21 ppm و 0/93 ppm می‌باشد (جدول3و4).

آزمون تجزیه واریانس نیز حاکی ازآن‌است که تأثیر رویشگاه بر انباشتگی غلظت عناصر سرب و کادمیوم در برگ گونه‌های درختی در سطح اطمینان 95 درصد دارای اختلاف معنی‌دار می-

باشد (جدول 5و6) به نحوی که غلظت این عناصر در برگ درختان در رویشگاه آزادی از بیشترین میزان و در رویشگاه اقدسیه (شاهد) از کمترین میزان برخوردار بوده‌است.

جدول3- میزان غلظت سرب (ppm) در برگ گونه‌های درختی در رویشگاه‌های مورد مطالعه

گونه‌های درختی / رویشگاه		کاج تهران	سرو نقره‌ای	اقاقیا	نارون	زبان گنجشک
آلوده	آزادی	18/57 C	15/01 C	13/09 C	10/42 D	7/18 D
	بهمن	16/61 B	13/40 B	11/58 B	9/94 C	5/64 C
	بازار	14/95 B	12/44 B	10/12 B	8/14 B	3/89 B
شاهد	اقدسیه	7/46 A	6/81 A	4/10 A	2/94 A	1/21 A

جدول4- میزان غلظت کادمیوم (ppm) در برگ گونه‌های درختی در رویشگاه‌های مورد مطالعه

گونه‌های درختی / رویشگاه		کاج تهران	سرو نقره‌ای	اقاقیا	نارون	زبان گنجشک
آلوده	آزادی	14/28 C	11/64 C	10/06 C	8/01 D	5/52 D
	بهمن	12/77 B	10/1 B	8/9 B	7/64 C	4/33 C
	بازار	11/5 B	9/56 B	7/78 B	6/21 B	2/99 B
شاهد	اقدسیه	5/73 A	5/23 A	3/15 A	2/26 A	0/93 A

جدول5- تجزیه واریانس غلظت سرب در برگ تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	3	752/362	250/787	83595/78	0/000*
گونه	4	116/704	29/176	9725/33	0/002*
رویشگاه × گونه	12	13/298	1/108	369/39	0/014*
خطا	101	0/364	0/003		
کل	120	882/728			

*معنی‌دار در سطح احتمال 95 درصد.

جدول6- تجزیه واریانس غلظت کادمیوم در برگ تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	3	278/652	92/884	92884	0/004*
گونه	4	43/22	10/805	10805	0/000*
رویشگاه × گونه	12	4/92	0/41	410	0/000*
خطا	101	0/134	0/001		
کل	120	326/926			

*معنی‌دار در سطح احتمال 95 درصد.

غلظت در اندام زیر زمینی (ریشه)

نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت سرب و کادمیوم در درختان نارون و در رویشگاه آزادی به‌ترتیب با 10/51 ppm و 8/08 ppm و کمترین میزان آن در درختان کاج تهران و در رویشگاه اقدسیه به‌ترتیب با 1/91 ppm و 1/46 ppm می‌باشد (جدول7و8).

آزمون تجزیه واریانس نیز نشان داد که تأثیر رویشگاه بر انباشتگی غلظت سرب و کادمیوم در ریشه گونه‌های درختی در سطح اطمینان 95 درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول9و10) به‌طوری‌که غلظت این عناصر در ریشه درختان در رویشگاه آزادی از بیشترین میزان و در رویشگاه اقدسیه (شاهد) از کمترین میزان برخوردار بوده‌است.

جدول7- میزان غلظت سرب (ppm) در ریشه گونه‌های درختی در رویشگاه‌های مورد مطالعه

گونه‌های درختی / رویشگاه		کاج تهران	سرو نقره‌ای	اقاقیا	نارون	زبان گنجشک
آلوده	آزادی	6/10 C	5/47 C	4/63 C	10/51 D	8/84 D
	بهمن	5/29 B	4/86 B	3/65 B	8/97 C	8/16 C
	بازار	3/17 B	3/61 B	2/98 B	7/19 B	6/73 B
شاهد	اقدسیه	1/91 A	2/01 A	2/27 A	4/41 A	4/03 A

جدول8- میزان غلظت کادمیوم (ppm) در ریشه گونه‌های درختی در رویشگاه‌های مورد مطالعه

گونه‌های درختی / رویشگاه		کاج تهران	سرو نقره‌ای	اقاقیا	نارون	زبان گنجشک
آلوده	آزادی	4/69 C	4/2 C	5/56 C	8/08 D	6/8 D
	بهمن	4/06 B	3/73 B	4/80 B	6/9 C	6/47 C
	بازار	2/53 B	2/77 B	4/29 B	5/89 B	5/07 B
شاهد	اقدسیه	1/46 A	1/54 A	3/74 A	3/39 A	3/1 A

جدول9- تجزیه واریانس غلظت سرب در ریشه تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	3	518/115	172/705	86352/5	0/001*
گونه	4	83/367	20/841	10420/87	0/066
رویشگاه * گونه	12	10/229	0/854	426/21	0/010*
خطا	101	0/261	0/002		
کل	120	611/972			

*معنی‌دار در سطح احتمال 95 درصد.

جدول10- تجزیه واریانس غلظت کادمیوم در ریشه تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	3	207/246	69/082	69082	0/000*
گونه	4	33/346	8/336	8336	0/053
رویشگاه * گونه	12	4/916	0/409	409000	0/012*
خطا	101	0/104	/001		
کل	120	245/612			

*معنی‌دار در سطح احتمال 95 درصد.

نسبت غلظت در اندام هوایی به زیر زمینی

باتوجه‌به اهمیت نسبت انتقال عناصر از اندام زیر زمینی به اندام هوایی یا همان فاکتور انتقال (نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت همان عنصر در اندام زیر زمینی)، نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های درختی کاج تهران، سرو نقره‌ای و اقاقیا بیشترین ضریب انتقال سرب (3/49ppm، 2/99ppm و 2/82ppm) و کادمیوم (3/35ppm، 2/83ppm و 1/92ppm) را از اندام‌های زیر زمینی به اندام هوایی دارا بوده و توانسته‌اند به نوعی این عناصر را به اندام‌های هوایی خود انتقال داده و کمترین انباشتگی از آنها را در اندام زیر زمینی خود داشته باشند (جدول11).

جدول11- نسبت غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی به زیرزمینی در گونه‌های درختی

گونه درختی	فاکتور انتقال (TF)	
	سرب(ppm)	کادمیوم(ppm)
کاج تهران	3/49	3/35
سرو نقره‌ای	2/99	2/83
نارون	0/98	0/99
اقاقیا	2/82	1/92
زبان گنجشک	0/64	0/61

بحث و نتیجه گیری

در رویشگاه‌های آلوده میزان غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و زیر زمینی درختان بیشتر از رویشگاه شاهد بوده و به‌ترتیب اقدسیه (شاهد)، بازار، بهمن و آزادی افزایش نشان می‌دهد. وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت این عناصر در رویشگاه‌های مختلف را می‌توان به میزان غلظت در اتمسفر و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله وجود ذرات رسی، pH، غلظت کل و قابل جذب عناصر در خاک ارتباط داد. مطالعات گذشته به تناسب غلظت عناصر در محیط (اتمسفر و خاک) با قابلیت جذب آنها به‌وسیله گیاهان اشاره نموده‌اند (Marry et al., 1996; Al-Shayeb and Seaward, 2001). بین درصد ذرات رس موجود در خاک و میزان جذب سرب و کادمیوم در درختان مورد مطالعه رابطه

معنی‌دار وجود دارد. در این خصوص می‌توان به تحقیقات تائبی و همکاران (1386) و سامانی مجد و همکاران (1386) اشاره نمود که اظهار داشتند کلوئیدهای رسی موجود در سطح خاک با جذب عناصر سنگین، مانع آبشویی و انتقال آنها به لایه‌های پایین خاک می‌گردند به همین دلیل میزان جذب عناصر توسط گیاهان افزایش می‌یابد. قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات سنگین رابطه معکوسی با pH خاک دارد به‌نحوی‌که با کاهش pH، رسوب عناصر فلزی به‌صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی کاهش یافته و قابلیت جذب فلزات موجود در خاک برای گیاهان افزایش می‌یابد (بقائی و همکاران، 1386).

با توجه به اینکه در گیاه‌پالایی فلزات سنگین، نسبت انتقال عناصر از اندام زیر زمینی به اندام هوایی (فاکتور انتقال) بسیار مهم و ضروری است، نتایج نشان داد که گونه‌های کاج تهران، سرو نقره‌ای و اقاقیا بیشترین توانایی را جهت انتقال سرب و کادمیوم دارا می‌باشند. (2000) Lasat و (2003) Mattina et al., اظهار داشتند از فاکتور انتقال عناصر از اندام زیر زمینی به اندام هوایی می‌توان به‌منظور شناسایی گونه‌های فرا انباشت‌کننده استفاده نمود. (1998) Brooks بیان نمود که گیاهانی می‌توانند فلزات سنگین را به اندام هوایی خود انتقال دهند که کمترین انباشتگی از این عناصر را در اندام زیر زمینی داشته باشند. برخی از محققین نیز از نسبت غلظت فلزات در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه به‌منظور توصیف مقاومت و عکس‌العمل گیاه به حضور مقادیر بالای فلزات در خاک استفاده نموده‌اند که این نسبت در گیاهان انباشتگر[1] بزرگتر از 1 و در گیاهان دافع[2] کمتر از 1 می‌باشد (Cooper et al., 1999).

به‌طورکلی گیاه‌پالایی فلزات سنگین نوعی تکنیک طبیعی و پایدار، آسان، کم هزینه، بوم سازگار، دوستدار محیط زیست و قابل کاربرد در سطوح وسیع است که در آن می‌بایست به فاکتورهایی نظیر بردباری گیاه در برابر فلزات، سیستم ریشه‌ای، توانایی انتقال از اندام زیر زمینی به اندام هوایی و سرعت رشد توجه نمود. نتایج این تحقیق نشان داد درختان کاج تهران، سرو نقره‌ای و اقاقیا، گونه‌هایی مناسب جهت پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم می‌باشند که می‌توانند در مناطق مشابه نیز توصیه گردند. با توجه به نکات ذکر شده، تکنولوژی زیست‌پالایی با استفاده از گونه‌های درختی روشی مؤثر در حذف آلودگی ناشی از فلزات سنگین در خاک‌های آلوده محیط‌های شهری می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر انجام شده‌است و بدینوسیله نویسندگان مقاله از این واحد دانشگاهی صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایند.

[1] -Accumulators
[2] -Excluders

منابع

1- بسالت‌پور، ع.ا.، حاج‌عباسی، م.ع.، خوشگفتارمنش، ا.ح. و افیونی، م. 1387. بررسی پالایش‌های خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی اطراف پالایشگاه تهران به روش تحریک گیاهی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 15(4): 35-22.

2- بقائی، ا.ح.، خادمی، ح. و محمدی، ج. 1386. تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، 14(2): 19-11.

3- تائبی، ا.، سامانی‌مجد، س. و ابطحی، س.م. 1386. ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیه خیابان‌های شهری. پژوهشنامه حمل و نقل، 4(3): 205-195.

4- دبیری، م. 1379. آلودگی محیط زیست (هوا- آب- خاک- صوت). انتشارات اتحاد، تهران، 399 صفحه.

5- سازمان زمین‌شناسی کشور. 1390. آمار و اطلاعات زمین‌شناسی و خاکشناسی شهر تهران. (http://www.ngdir.ir/).

6- سازمان هواشناسی کشور. 1390. آمار و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور. (http://www.weather.ir/farsi/statistics/index.aspx).

7- سامانی‌مجد، س.، تائبی، ا. و افیونی، م. 1386. آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. مجله محیط‌شناسی، 33(43): 10-1.

8- شرکت کنترل کیفیت هوا (وابسته به شهرداری تهران). 1390. گزارشات آلودگی هوای شهر تهران. (http://www.aqcc.ir/default.aspx).

9-Al-Shayeb, S.M., and M.R.D. Seaward. 2001. Heavy metal content of roadside soils along ring road in Riyadh (Saudi Arabia). Asian Journal of Chemistry, 13(2): 407-423.

10-Armstrong, J. 1998. Development of methodology for estimating vehicle emissions. Master's Thesis, Hamilton, Ontario: McMaster University.

11-Brooks, R.R. 1998. Plants that hyperaccumulate heavy metal.CAB International, New York, 380p.

12-Coelho, M.C., Farias, T.L. and Rouphail, N.M. 2005. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. Transportation Research Part D, 6: 323-340.

13-Cooper, E.M., J.T. Sims, S.D. Cunningham, J.W. Huang, and W.R. Berti. 1999. Chelate-Assisted Phytoextraction of Lead form contaminated soils. Journal of Environmental Quality, 28: 1709-1719.

14-EPA. 2006. Air Quality Criteria for Lead. Volume I & II: 1588p. (http:// www. epa.gov/)

15-Gao, J.Z., and L.Z. Zhu. 2003. Phytoremediation and its models for organic contaminated soils. Journal of Environmental Science and Technology, 15: 302-310.

16-Huang, X.D. 2004. Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. Journal of Environmental Pollution, 130: 453-463.

17-James, D.W. and K.L. Wells. 1990. Soil sample collection and handing technique based on source and degree of field variability. Soil Testing and Plant Analysis. Third edition. Soil science society of America, 25-44. In: R.L. Westerman (ed.).

18-Johnson, L. and Ferreira, L. 2001. Modeling particle emission from traffic flows at a freeway in Brisbane, Australia. Transportation Research Part D, 6: 357-369.

19-Klute, A. 1986. Method of soil analysis. Part1: Physical methods. Soi. Sci SOC. Ameri. J. 432-449.

20-Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil. Journal of Hazardous Substance Research, 2: 1-25.

21-Marry, R.H., K.G. Tiller, and A.M. Alston. 1996. The effect of contamination of soil with copper, lead and arsenic on the growth and composition of plant. Journal of Plant and Soil, 91: 115-128.

22-Mattina, M.J.I., W. Lannucci-Berger., C. Musante, and J.C. White. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metal and persistent organic pollutants from soil. Environmental Pollution, 124: 375-378.

23-Pais, I. and J.B. Jones. 1997. The Handbook of Trace Elements, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida, 223p.

24-Wang, X. 2005. Integrating GIS, simulation models and visualization in traffic impact analysis. Computers, Environment and Urban Systems. 29: 471-496.

25-Westerma, R.E.L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison Wisconsin, USA.

26-Yağdı, K., O. Kacar, and N. Azkan. 2000. Heavy metal contamination in soils and its effects in agriculture. Journal of Agriculture Faculty OMU, 15(2): 109-115.

27-Yaron, B., R. Calvet, and R. Prost. 1996. Soil pollution: Processes and Dynamics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 312p.